台灣農業化學與食品科學（中華民國九十三年十月／第四十二卷第五期：第三八三至三九五頁）
Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science (October, 2004) 42(5): 383-395

肥料深施及穗肥對水稻產量之效應及診斷研究

王 鐘 和*
行政院農業委員會農業試驗所 農業化學組

（接受刊載日期：中華民國九十三年四月七日）

本研究探討肥料深施及穗（氮）肥施用對水稻生育的影響及穗（氮）肥施用必需性判定之基準。結果如下：深施區水稻之乾物產量、穀粒產量、全株氮吸收量及穀粒氮量均較傳統撒施區高。幼穗形成期增施穗（氮）肥 35 *kg/ha* 明顯增加水稻生育中、後期之氮吸收量、乾物產量、氮收穫指數及收穫指數，故明顯提高穀粒產量。惟因深施區水稻氮吸收效率較高，在較高氮肥用量區增加穗（氮）肥對全乾物產量及穀粒產量反而有不利影響。施穗（氮）肥可以提高氮肥之吸收率。水稻幼穗形成期全株氮濃度達 18.6-19.5 *g/kg* 時，施穗（氮）肥無增產效果。幼穗形成期葉片葉綠素計測值與全株氮濃度呈極顯著正相關，可供此時期現場診斷植株氮營養，推薦穗（氮）肥用量之依據。

關鍵字：水稻，肥料深施，穗肥。

Response of Rice Yield to Deep Placement of Fertilizer and Nitrogen Top-dressing during Panicle Initiation Stage and Its Diagnosis of Fertilizer Application

Chong-Ho Wang
Division of Agricultural Chemistry, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taichung, Taiwan

(Accepted for publication: April 7, 2004)

Field experiments were conducted to examine the effect of deep placement of fertilizer and nitrogen top dressing on rice yield and to develop a simple method for diagnosing the level of nitrogen (N) top-dressing during panicle initiation stage. The results showed that deep placement of nitrogen fertilizer promoted nitrogen uptake, grain nitrogen and nitrogen harvest index, resulted in a higher dry matter production, harvest index, and a higher grain yield of rice plant as compared with conventional nitrogen application. Similarly, top-dressing of nitrogen at panicle initiation stage also increased nitrogen uptake, dry matter production, nitrogen harvest index, harvest index, and grain yield of rice plant. Furthermore, nitrogen top- dressing at this stage significantly increased the efficiency of fertilizer-N absorption. Analyses of canonical correlations of rice response to panicle fertilizer revealed that nitrogen concentration of rice plant and panicle fertilizer dosage were highly correlated i.e. the lower nitrogen concentration in the plant, the higher response of the plant to the top-dressing. The critical nitrogen concentration of rice plant were under 18.6- 19.5 *g/kg* for positive response of rice yield. The chlorophyll-meter value was significantly positively associated with both leaf N concentration and rice plant N concentration at panicle initiation stage. Consequently, detection of chlorophyll concentration using chlorophyll-meter would be a good tool for determining the essential dosage of top-dressing panicle fertilizer.

Key words: Rice, Fertilizer deep placement, Panicle fertilizer.

前　言

氮為作物生長之必須要素，亦為構成植物體中蛋白質與葉綠素之重要成分之一，與植體內之各項生理生化活動有密切之關係，尤其在光合作用及乾物質生產方面更受氮營養之密切影響。

栽培水稻除了二氧化碳、氧氣、水及必需

* E-mail: chwang@wufeng.tari.gov.tw

適時適量供應營養要素外，尚需足夠之矽，稻株才能正常生長，獲得理想之產量與品質[1,2]。水稻對三要素之反應以氮最為敏感，氮稍缺乏則發育不良，產量不高，但如果施用過量，或施用時期不當，亦易導致過度分蘗、孳生病蟲害或引起倒伏而減產。水稻自播種至收穫之任何階段均可吸收氮，但就各階段所吸收氮對稻穀生產之效率而言，則以分蘗盛期及幼穗形成期為最大。分蘗盛期及幼穗形成期氮養分充足與否，影響穗數、稔實率及千粒重。因此，欲獲高產，必須在這兩個時期充分供應氮肥。氮肥施於稻田表面後，極易因脫氮作用而揮散損失，且亦有一部分流失，其損失量因土壤性質而異。因此，氮肥須分次施用，其中基肥須混入土中 0-12 *cm* 才能減少損失，而漏水過速之水田則不施用基肥。分蘗盛期之追肥應視分蘗狀況，穗肥則依葉色，調節施用。磷肥以一次作基肥施用為原則，鉀肥則著重追肥分施，避免過早施用而流失[3,4]。連等人[5]指出，除了漏水嚴重之粗質地土壤仍採用肥料分施法之外，對於中或細質地土壤，則可採用以需肥量之 75%當基肥，且以耕耘機犁入土壤中，另 25%當穗肥的施肥法；既省工又可減少氮肥損失。

三要素中以氮肥對作物之增產效果最大，但過量之施用或施用不當所可能帶來之負面效果亦最大，合宜的氮肥施用具有調節作物營養生長和生殖生長以達到最適收穫指數(HI, harvest index)之意義。早期一般農家慣於插秧後不久及稻作最高分蘗期施用追肥而不施基肥。民國 54-63 年(1965-1974)間，各農業試驗改良場所在全台舉辦水稻氮肥分施試驗。結果證實，幼穗形成期之追肥(穗肥)可提高稻穀產量，並以基肥與分蘗盛期和幼穗形成期追肥之組合較佳[6]。台灣過去已累積相關之試驗結果並釐訂有稻田之氮肥、磷肥及鉀肥之推薦用量，使水稻之施肥推薦邁向科學化[1,6]。近年來，在複作制度下，由於不同作物之施肥情況截然不同，前作施肥所殘留肥分和作物殘體對次作物之養分吸收將有莫大影響[7]。施用不同有機質肥料配合化學肥料對水稻生長及氮之吸收與分佈之影響亦受關注[8]。

若能將 75%的需肥量於插秧時或插秧後不久，以施肥機點施於稻株間約 7-10 *cm* 深處，則肥效更加顯著；高雄區農業改良場即研製「高改式水稻深層施肥機」於插秧後 7-10 天以人工操作將氮肥用量之 75%行深層點施，另 25%當穗肥，結果較標準分施方法可節省 15-30%氮肥而仍可維持相同的高產量[9]。此種結果曾於民國 61-64 年(1972-1975)間在台灣各地示範而獲得良好結果[10]。超大顆粒尿素(USG)深施提高氮回收率及稻穀產量之效果，以一期稻優於二期稻，一期稻穀產量可達 13%，氮回收率最高可達 77%；二期稻穀產量增產最高只有 3%(屏東新埤)，而氮回收率最高亦只有 41%[11]。

不同生育階段之水稻，除自土壤吸收由有機物礦化釋放之氮外，需由施肥供應吸收，達到各時期之最適氮濃度，此種理論亦可適用於小麥[12]。水稻產量構成要素為每株穗數、稔實穗粒數及千粒重。單位面積稔實穗粒數與抽穗期間氮的吸收有顯著相關性[13]。水稻植體中氮之累積與分佈過程對穀粒產量具有決定性之影響[14]。為使水稻能夠產生足夠之穗數與粒數，可於初期將尿素包於土壤或衛生紙之中後深施，並於幼穗形成期配合施撒一次穗肥。此外；必須發展出較為簡便之深施技術，上述之深施方法之原理才能實際的被利用[15]。

葉片是水稻植株中氮之主要積儲器官(sink)[16]，含氮量佔全株之 39-48%，為含氮量最高之組織[17]。在分蘗盛期之後，氮濃度逐漸降低[18]。通常營養器官氮之轉移發生在抽穗左右，二期作較早，一期作較遲[16]。葉片、莖稈、葉鞘三者減少之總和與穗獲得之再轉移性氮之總量大約相等[19]。許多研究顯示，增加葉部氮濃度，光合作用率也隨之增加[20]。高產品種的水稻，葉部含氮濃度較高[21]，葉綠素濃度也較高[22]。應用攜帶型葉綠素計測定葉片之測值與葉片之葉綠素濃度、氮濃度、全株氮濃度均呈顯著正相關[23,24]。

水稻屬 C3 型作物，氮利用效率較 C4 型作物玉米低[25]。Yoshida[26]指出，氮肥對子實生產之效率(FE, efficiency of fertilizer - N = *kg* yield/*kg* N applied)等於施用氮肥之吸收效率(% efficiency of absorption = *kg* N absorbed /*kg* N applied)乘以被吸收氮產生子實之效率(NE, absorbed-N to produce yield = *kg* yield/*kg* N absorbed)。Tanaka 等人[27]亦指出產量等於植體吸收氮總量(N/plant)乘以吸收氮之穀生產效率(NE, efficiency of N accumulation in plants to produce yield)。

鑑於未來科學化精準肥培管理之需要，本研究調查及分析不同肥料施用方式(傳統撒施及深施)及穗(氮)肥施用與否之處理下，水稻各生育期之葉片葉綠素計測值、葉面積指數、植體各器官乾物及氮濃度，收穫期之植體各器官乾物及氮分布情形以及穗數、千粒重及穗粒數等收量構成因子，並比較不同處理之氮效

率，探討肥料深施及穗肥對水稻產量之效應，以及穗肥施用之診斷技術。

材 料 與 方 法

一、供試作物及試驗地

水稻(*Oryza sativa* L.)台農六十七號。農業試驗所之試驗田區之 38、39、42 及 43 號田，其土壤性質如表一所示。

二、肥培管理處理

氮肥等級：氮肥用量(不含穗(氮)肥量)分為 0、45、90 及 135 *kg/ha* 四級，各氮肥等級區一半之試區於幼穗形成期追(撒)施穗(氮)肥 35 *kg/ha*。施肥方式：分(1)慣行撒施(38 及 42 號田區)及(2)深施(39 及 43 號田區)兩種。(慣行撒施區之氮肥以硫酸銨施用，深施區則以台肥複合肥料五號施用)。磷與鉀肥施用量，分別為磷酐(P_2O_5) 70 *kg/ha* 及氧化鉀(K_2O) 70 *kg/ha*，以過磷酸鈣及氯化鉀肥料施用。施用時期：1. 慣行撒施區分三次(依作物施肥手冊推薦之比例：基肥、第一次追肥(分蘗始期)及第二追肥(分蘗盛期)之用量比例為 5/15：4/15：6/15)施用(表二)。2. 深施區於水稻插秧時以深層施肥插秧機同步一次深施，深度約 3-5 *cm*。

三、試驗設計及調查分析項目

撒施區及深施區各八處理，二重複，小區面積 25 × 25 m^2。分別於分蘗盛期、幼穗形成期、抽穗期及收穫期調查葉面積指數、葉綠素計測值、植體各器官乾物重及氮分布情形。植株全氮：以元素分析儀(Perkin Elmer 2400 seriesll, Perkin Elmer™ instruments, Norwalk, Connecticut, USA)測定。葉面積之測定：以葉面積儀(LICOR LI mode 3100, LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, USA)測定、葉片非破壞性葉綠素濃度：以葉綠以素計(MINOLTA SPAD-502, Minolta, Osaka, Japan)，測定成熟葉。另外收穫期則增加調查每叢株數、每叢穗數、千粒重、穗粒數及其他農藝性狀。

四、計算

1. 氮肥吸收效率，F-N abs. % (fertilizer - N absorption efficiency) = *kg* N absorbed/*kg* N applied。
2. 氮生產效率，NE (absorbed - N to produce yield) = *kg* yield/*kg* N absorbed。

結 果 與 討 論

一、對乾物質累積與分配之影響

作物產量的基礎是以乾物質生產和分配為主，提高作物的產量也就是如何提高作物乾物質的生產和分配[28]。氮肥對水稻之重要性無庸置疑，適當合宜的施用氮肥對稻穀有明顯的增產效果，但不當過量的施用也會造成反效果[3,4]。圖一為氮肥用量與稻穀產量之相關圖。顯示隨著氮用量增加，稻穀之產量增加，相同氮用量下，深施區之產量高於撒施區。而在幼穗形成期增施 35 *kg/ha* 氮肥之效應，則顯示在較低氮肥用量處理明顯有增產效果，氮用量提高

表一　試區表土(0-15 *cm*)性質及肥力狀況(2002)

Table 1. Soil properties and fertility status of the surface soils (0-15 *cm*) in the experiment (2002)

Field no.	pH	OM[1]	CEC[2]	Ca	Mg	K	Na	P	K	Zn
	(1：1)	%	*cmol(+)/kg*	NH_4OAC extractable, *cmol(+)/kg*				Mehlich's 3 extractable, *mg/kg*		
38	5.31	2.13	7.8	4.56	1.35	0.11	0.1	16.5	33.8	3.97
39	4.32	2.22	7.53	4.21	1.28	0.2	0.17	31	74.3	5.29
42	4.95	2.21	7.82	3.76	1.11	0.1	0.08	19.2	36.1	4.76
43	5.01	2.18	8.13	3.94	1.31	0.16	0.08	21.4	42.9	4.52

1 Organic matter.

2 Cation exchange capacity.

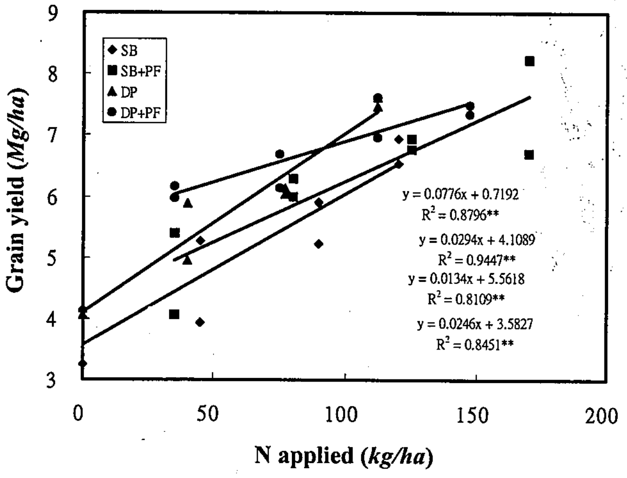
表二 試區之肥料施用量及方法(2003 一期作)

Table 2. Fertilization methods in the experiment (2003 first crop)

	Treatment	Before transplanting, *kg/ha*	Initial tillering stage, *kg/ha*	Active tillering stage, *kg/ha*	Panicle initiation stage, *kg/ha*
I[1]	N0	0	0	0	0
	N0+35[2]	0	0	0	35
	N45	15	12	18	0
	N45+35	15	12	18	35
	N90	30	24	36	0
	N90+35	30	24	36	35
	N135	45	36	54	0
	N135+35	45	36	54	35
	P_2O_5	70	0	0	0
	K_2O	17.5	17.5	21	14.0
II[1]	N0	0	0	0	0
	N0+35[2]	0	0	0	35
	N40	40	0	0	0
	N40+35	40	0	0	35
	N77	77	0	0	0
	N77+35	77	0	0	35
	N112	112	0	0	0
	N112+35	112	0	0	35
	P_2O_5	70	0	0	0
	K_2O	70	0	0	0

1 I: Surface application；II: Deep application.

2 Top-dressing N 35 *kg/ha* at panicle initiation stage.



圖一 氮施用量與稻穀產量之關係(2003 一期作)

Fig. 1. Relationship between nitrogen application rate and grain yield of rice (2003 first crop) (SB: surface broadcast; SB + PE: surface broadcast + panicle fertilizer; DP: deep placement; DP + PF: deep placement + panicle fertilizer).

時，增產的效果減少；在深施區之較高氮用量處理區(N 112 *kg/ha*)甚至導致產量下降，此情形應與氮供應過量有關。石塚與金雄[29]亦指出，玉米生育過程中雌穗抽絲期以後的子實成熟期間，稈葉的乾物重仍有增加，即仍有營養生長，故過多的氮營養對子實的充實不利。

表三顯示慣行撒施區幼穗形成期增施穗(氮)肥在各級氮肥處理區除了最高氮肥用量區(N 135 *kg/ha*)，因而導致全乾物量略下降外，其餘處理對水稻植株之全乾物量及稻穀產量均有明顯增加之效果。表中也顯示增施穗肥顯著提高收穫指數(HI)，亦即施穗肥可明顯提高乾物質分配至稻穀的比率。氮肥深施區增施穗肥也是在最高氮肥用量區(112 *kg/ha*)，導致全乾物量及稻穀產量略為下降，而收穫指數未改變，其餘氮肥用量處理區則均顯著提高植株全乾物量、稻穀產量及收穫指數(表四)。此結果

表三　不同施肥方式對水稻全乾物重、稻穀產量及收穫指數之影響(2003 一期作；肥料表施區)

Table 3. Effect of different fertilization on total dry matter yield, grain yield and harvest index of rice (2003 first crop, surface application)

Treatment	Total dry matter yield, *Mg/ha*	Grain yield, *Mg/ha*	HI
N0	6.88 ± 1.25[1]	3.70 ± 0.51	0.49 ± 0.01
N0+35	8.82 ± 0.51	4.73 ± 0.77	0.50 ± 0.02
N45	8.36 ± 1.04	4.60 ± 0.67	0.47 ± 0.01
N45+35	9.79 ± 0.12	6.14 ± 0.36	0.52 ± 0.00
N90	9.79 ± 0.89	5.56 ± 0.42	0.49 ± 0.01
N90+35	11.36 ± 0.01	6.86 ± 0.13	0.53 ± 0.00
N135	12.52 ± 0.03	6.74 ± 0.27	0.47 ± 0.02
N135+35	12.04 ± 1.49	7.48 ± 0.83	0.54 ± 0.01

1 Means of two replications with standard deviation.

表四　不同施肥方式對水稻全乾物重、稻穀產量及收穫指數之影響(2003 一期作；肥料深施區)

Table 4. Effect of different fertilization on total dry matter yield, grain yield and harvest index of rice (2003 first crop, deep application)

Treatment	Total dry matter yield, *Mg/ha*	Grain yield, *Mg/ha*	HI
N0	7.80 ± 0.41[1]	4.12 ± 0.21	0.48 ± 0.01
N0+35	10.57 ± 0.99	6.06 ± 0.58	0.52 ± 0.00
N40	9.71 ± 0.09	5.41 ± 0.50	0.49 ± 0.01
N40+35	10.63 ± 0.78	6.40 ± 0.36	0.53 ± 0.00
N77	10.97 ± 0.00	6.08 ± 0.36	0.47 ± 0.02
N77+35	12.49 ± 1.55	7.29 ± 0.44	0.50 ± 0.03
N112	14.75 ± 1.19	7.55 ± 0.53	0.47 ± 0.02
N112+35	13.17 ± 0.03	7.42 ± 0.50	0.47 ± 0.01

1 Means of two replications with standard deviation.

與前人研究施穗(氮)肥可提高稻穀產量之結果一致[15, 30, 31]。

表五及表六為各生育階段乾物累積量之比較。顯示在分蘗盛期不同氮肥用量區水稻之全乾物量差異不大，分蘗盛期至幼穗形成期之期間乾物之累積量則明顯隨著氮肥用量增加而增加。此結果應與水稻在分蘗盛期前植株之生長量及根系量均較小，對氮的需求也較小，故對各氮肥等級處理之反應較小，過了分蘗盛期植株快速分蘗對養分的需求明顯提昇，較高氮肥區植株的生長明顯被促進，故乾物明顯增加。另外，兩表中均顯示施穗肥顯著提高幼穗形成期至抽穗期之乾物累積量，對抽穗期至收穫期間之乾物增加也有提高的效果。比較表中不施穗(氮)肥區(不含 N 0 *kg/ha* 區)之結果，顯示幼穗形成期之前氮肥撒施區與深施區水稻全乾物量相近(合併表五及表六中幼穗形成期前之兩個生育階段的乾物量資料可得：撒施區 3.01-4.18 *Mg/ha*，深施區 2.95-4.19 *Mg/ha*)，而幼穗形成期至收穫期之期間，深施區乾物增加量明顯較撒施區高(撒施區 7.18-10.20 *Mg/ha*，深施區 8.48-13.31 *Mg/ha*)。顯示深施區水稻生育中期以後植株有較佳的乾物生產之能力。王[32]也指出，播植行深犁肥料深施可促進玉米吐絲期以後之氮磷鉀三要素吸收量及乾物生產，提高子實產量。Olson[33]指出，肥料深施可

表五 不同施肥方式對水稻不同生育階段乾物累積量之影響(2003 一期作；肥料表施區)
Table 5. Effect of different fertilization on total dry matter accumulation of rice in different growth duration (2003 first crop, surface application)

Treatment	Transplanting- Active tillering stage, *Mg/ha*	Active tillering- Panicle initiation stage, *Mg/ha*	Panicle initiation- Heading stage, *Mg/ha*	Heading- Maturity *Mg/ha*
N0	0.23 ± 0.04[1]	1.60 ± 0.3[1]	3.36 ± 0.50[2]	3.17 ± 0.28[2]
N0+35			3.83 ± 0.40	3.69 ± 0.25
N45	0.33 ± 0.03	2.68 ± 0.38	2.92 ± 0.44	4.26 ± 0.50
N45+35			3.25 ± 0.02	4.95 ± 0.08
N90	0.39 ± 0.05	2.70 ± 0.42	3.38 ± 0.44	5.29 ± 0.17
N90+35			4.50 ± 0.16	5.70 ± 0.39
N135	0.46 ± 0.06	3.72 ± 0.50	3.50 ± 0.89	5.52 ± 1.21
N135+35			4.49 ± 1.43	4.62 ± 0.83

1 Means of four replications with standard deviation.
2 Means of two replications with standard deviation.

表六 不同施肥方式對水稻不同生育階段乾物累積量之影響(2003 一期作；肥料深施區)
Table 6. Effect of different fertilization on total dry matter accumulation of rice in different growth duration (2003 first crop, deep application)

Treatment	Transplanting - Active tillering stage, *Mg/ha*	Active tillering - Panicle initiation stage, *Mg/ha*	Panicle initiation- Heading stage, *Mg/ha*	Heading- Maturity, *Mg/ha*
N0	0.26 ± 0.05[1]	1.91 ± 0.17[1]	3.19 ± 0.31[2]	3.52 ± 1.66[2]
N0+35			3.45 ± 0.24	4.75 ± 0.71
N40	0.26 ± 0.05	2.69 ± 0.61	4.40 ± 0.55	6.36 ± 0.47
N40+35			5.50 ± 1.68	5.30 ± 1.57
N77	0.33 ± 0.08	3.30 ± 0.68	4.62 ± 0.73	3.86 ± 1.51
N77+35			6.25 ± 0.55	3.95 ± 0.81
N112	0.38 ± 0.03	3.81 ± 0.28	6.42 ± 0.46	4.51 ± 1.32
N112+35			6.68 ± 0.06	6.63 ± 0.09

1 Means of four replications with standard deviation.
2 Means of two replications with standard deviation.

促使玉米生育期吸收較多之營養元素。Gass 等人[34]及 Chabalier 與 Pichot[35]則表示，玉米生育後期所吸收之氮直接運移於子實而不浪費於營養生長。

表七及表八顯示隨著氮肥用量增加，植株之株高、每叢分蘗數及每叢穗數增加，氮肥深施區水稻之株高明顯高於撒施區，增施穗肥對每叢株數及穗數無明顯影響。增施穗肥對撒施區及深施區水稻之每穗粒數均有增加之效果，對撒施區之千粒重也有提高之效果，深施區則無。謝與黃[15]亦指出，為使水稻能產生足夠之穗數與穀粒重，可採行肥料深施並於幼穗形成期施穗肥。

二、對氮吸收及分配之影響

表九及表十顯示隨著氮用量增加，植株氮吸收量增加。增施穗肥區不但明顯增加水稻氮吸收量，也明顯提高氮分配至穀粒之比率，即提高氮收穫指數(NHI)，當然就提高了穀粒氮量。洪與劉[36]指出，水稻幼穗形成期施用氮肥的利用率最高，可達 60-69%，對穀粒的增產

表七　不同施肥方式對水稻株高、分蘗數、穗數、每穗粒數及千粒重之影響(2003 一期作；肥料表施區)

Table 7. Effect of different fertilization on plant height, tiller number, panicle number, grain number per panicle, and 1000-grain weight of rice (2003 first crop, surface application)

Treatment	Plant height, *cm*	Tiller no. per hill	Panicle no. per hill	Grain no. per panicle	1000-grain weight, *g*
N0	92.8 ± 0.2[1]	12.7 ± 1.3	12.7 ± 1.3	85.3 ± 13.4	24.5 ± 0.3
N0+35	95.2 ± 1.5	13.7 ± 1.0	13.7 ± 1.0	88.1 ± 3.1	25.0 ± 1.4
N45	94.2 ± 2.8	16.0 ± 0.7	16.2 ± 0.5	78.6 ± 0.4	24.8 ± 1.0
N45+35	96.3 ± 1.7	15.8 ± 0.5	15.7 ± 0.3	89.9 ± 4.6	25.6 ± 1.2
N90	99.0 ± 0.7	19.5 ± 0.2	19.5 ± 0.5	77.6 ± 4.3	24.6 ± 0.5
N90+35	102.3 ± 3.0	18.0 ± 0.3	17.5 ± 0.8	95.7 ± 0.5	26.0 ± 0.9
N135	101.5 ± 3.2	20.3 ± 3.0	20.0 ± 2.7	81.1 ± 1.1	24.0 ± 1.0
N135+35	98.0 ± 0.7	20.0 ± 0.0	19.8 ± 0.2	96.8 ± 1.7	24.5 ± 0.5

1 Means of two replications with standard deviation.

表八　不同施肥方式對水稻株高、分蘗數、穗數、每穗粒數及千粒重之影響(2003 一期作；肥料深施區)

Table 8. Effect of different fertilization on plant height, tiller number, panicle number, grain number per panicle and 1000-grain weight of rice (2003 first crop, deep application)

Treatment	Plant height, *cm*	Tiller no. per hill	Panicle no. per hill	Grain no. per panicle	1000-grain weight, *g*
N0	89.2 ± 3.5[1]	12.5 ± 1.5	12.2 ± 1.8	78.2 ± 3.8	25.3 ± 0.7
N0+35	98.8 ± 3.2	12.5 ± 0.5	12.2 ± 0.2	111.3 ± 14.0	23.6 ± 1.3
N40	99.7 ± 1.0	17.7 ± 0.9	17.4 ± 0.6	89.4 ± 3.2	24.7 ± 0.8
N40+35	102.0 ± 3.7	17.5 ± 1.8	17.3 ± 2.7	107.2 ± 20.2	23.7 ± 0.9
N77	104.0 ± 7.7	15.8 ± 0.5	15.5 ± 0.8	91.8 ± 8.7	23.2 ± 0.4
N77+35	108.2 ± 2.5	16.7 ± 0.3	16.5 ± 0.5	102.7 ± 1.2	23.5 ± 1.7
N112	111.0 ± 1.3	19.2 ± 0.5	19.0 ± 0.3	101.6 ± 2.9	21.4 ± 1.8
N112+35	118.8 ± 1.2	20.5 ± 0.8	19.5 ± 1.2	111.2 ± 7.7	21.8 ± 0.3

1 Means of two replications with standard deviation.

效果較其他時期大。莊[11]也指出，大顆粒尿素深施可明顯提昇氮肥的回收率而減少流失。王[32]也指出於玉米雄穗抽出期增施穗(氮)肥對氮吸收量及氮收穫指數均有明顯的提昇效果。

雖然表十一及表十二顯示在分蘗盛期時撒施區及深施區水稻之氮吸收量相近，但是在分蘗盛期至幼穗形成期之期間深施區水稻之氮吸收量則均顯著高於撒施區，甚至有高達二倍者。顯示深施區之此期間土壤氮供應應十分充足，加上水稻根系於此時已生長有相當規模，故能吸收較多量的氮。另外，增施穗肥明顯增加幼穗形成期至抽穗期之期間水稻的氮吸收量。施穗肥對抽穗期至收穫期間之氮吸收則無顯著影響。此結果顯示，深施區氮的流失率較慣行撒施區明顯較少，所以其施用量雖較少，但卻能使水稻由分蘗盛期至抽穗期的生長期間，均能吸收較多量的氮肥，而前人研究也指出，氮肥深施的流失量較少，回收率較高[11, 15, 30, 37]。

Shoji 等人[38]指出，一般水稻吸收氮之終止期約在最高分蘗期，因此，除非再供給大量氮，否則水稻體內氮的增加，將受到相當的限

表九 不同施肥方式對水稻植株氮吸收量、稻穀氮量及氮收穫指數之影響(2003 一期作；肥料表施區)

Table 9. Effect of different fertilization on total nitrogen absorbed, grain nitrogen, and nitrogen harvest index of rice (2003 first crop, surface application)

Treatment	Total nitrogen absorbed, kg/ha	Grain nitrogen, kg/ha	NHI
N0	71.1 ± 1.7[1]	43.1 ± 1.8	0.61 ± 0.01
N0+35	81.3 ± 0.6	52.5 ± 2.8	0.65 ± 0.03
N45	89.2 ± 6.9	53.3 ± 3.0	0.60 ± 0.01
N45+35	103.4 ± 0.9	67.9 ± 4.8	0.66 ± 0.04
N90	105.6 ± 2.8	65.8 ± 2.5	0.62 ± 0.01
N90+35	119.5 ± 5.7	79.6 ± 4.6	0.67 ± 0.01
N135	112.9 ± 8.0	67.5 ± 7.5	0.60 ± 0.02
N135+35	130.9 ± 3.8	87.8 ± 3.0	0.67 ± 0.00

1 Means of two replications with standard deviation.

表十 不同施肥方式對水稻植株氮吸收量、稻穀氮量及氮收穫指數之影響(2003 一期作；肥料深施區)

Table 10. Effect of different fertilization on total nitrogen absorbed, grain nitrogen and nitrogen harvest index of rice (2003 first crop, deep application)

Treatment	Total nitrogen absorbed, kg/ha	Grain nitrogen, kg/ha	NHI
N0	73.1 ± 19.2[1]	50.4 ± 6.5	0.72 ± 0.10
N0+35	92.7 ± 21.2	64.0 ± 5.6	0.71 ± 0.10
N40	102.8 ± 18.6	69.5 ± 3.7	0.69 ± 0.09
N40+35	132.3 ± 20.5	98.1 ± 4.0	0.75 ± 0.09
N77	103.2 ± 30.0	69.9 ± 14.4	0.70 ± 0.06
N77+35	129.9 ± 19.3	90.2 ± 1.5	0.71 ± 0.12
N112	120.3 ± 23.7	79.0 ± 8.2	0.67 ± 0.06
N112+35	169.7 ± 27.0	111.6 ± 2.7	0.67 ± 0.09

1 Means of two replications with standard deviation.

制。而本試驗台農六十七號水稻在幼穗形成期以後仍有多量之氮吸收，此應與其為高產量品種有關。且種植時肥料深施及幼穗形成期增施穗(氮)肥則可以再進一步增加生育中期的氮吸收。

三、氮效率之比較

圖二顯示不施穗(氮)肥處理區之氮肥吸收效率以深施區較慣行撒施區高，惟隨著氮肥用量增加其差異縮小。施穗(氮)肥可提高氮肥吸收效率，深施區亦明顯較撒施區高。氮肥效率受品種及栽培方式的影響，莊[11]指出，較大顆粒尿素深施可顯著提昇肥料的回收率。謝與黃[15]也指出，氮肥深施及施用穗(氮)肥，可提升水稻的產量及氮吸收量。玉米種植時採行肥料深施及施穗(氮)肥也有相同的情形[32]。圖三則顯示氮生產效率(NE)隨著氮吸收量增加而降低，此與前人研究一致[26,27]。深施區水稻有較高氮吸收量時，施穗(氮)肥區之氮生產效率(每公斤氮生產稻穀之效率)較無穗(氮)肥區高。撒施處理區施穗(氮)肥處理之 NE 雖也較高，但無顯著差異。而玉米於雄穗抽初期施穗(氮)肥亦有提高氮生產效率的效果[32]。

表十一　不同施肥方式對水稻植株不同生育階段氮吸收量之影響(2003 一期作；肥料表施區)
Table 11. Effect of different fertilization on nitrogen absorbed of rice in different growth duration (2003 first crop, surface application)

Treatment	Transplanting- Active tillering stage, *kg/ha*	Active tillering- Panicle initiation stage, *kg/ha*	Panicle initiation - Heading stage, *kg/ha*	Heading- Maturity, *kg/ha*
N0	6.8 ± 1.2[1]	15.1 ± 1.6[1]	11.7 ± 0.7[2]	36.4 ± 0.9[2]
N0+35			31.3 ± 1.7	29.2 ± 1.5
N45	10.7 ± 1.0	21.3 ± 3.1	4.6 ± 2.6	48.7 ± 5.9
N45+35			17.3 ± 2.4	57.9 ± 4.7
N90	14.4 ±1.7	22.8 ± 4.7	2.6 ± 2.1	59.7 ± 6.4
N90+35			27.2 ± 4.6	51.1 ± 1.4
N135	17.6 ± 3.9	35.7 ± 4.6	1.7 ± 4.9	59.7 ± 6.9
N135+35			34.0 ± 14.7	41.8 ±17.4

1 Means of four replications with standard deviation.
2 Means of two replications with standard deviation.

表十二　不同施肥方式對水稻植株不同生育階段氮吸收量之影響(2003 一期作；肥料深施區)
Table 12. Effect of different fertilization on nitrogen absorbed of rice in different growth duration (2003 first crop, deep application)

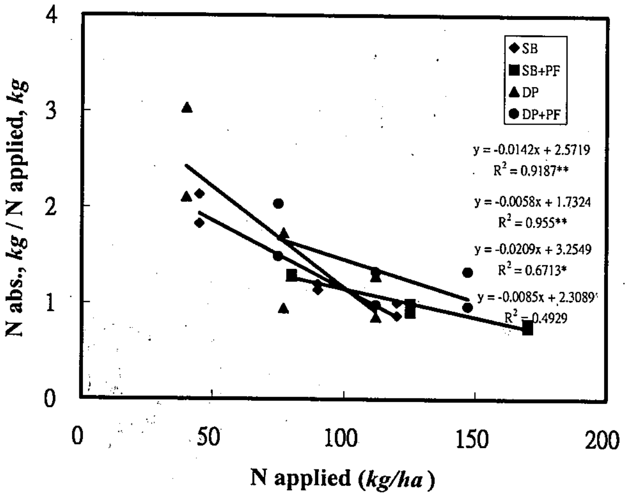
Treatment	Transplanting- Active tillering stage, *kg/ha*	Active tillering - Panicle initiation stage, *kg/ha*	Panicle initiation - Heading stage, *kg/ha*	Heading - Maturity, *kg/ha*
N0	8.6 ± 1.6[1]	19.0 ± 1.1[1]	14.2 ± 0.9[2]	31.7 ± 18.9[2]
N0+35			17.9 ± 0.4	46.9 ± 21.4
N40	9.0 ± 1.5	32.5 ± 6.6	10.4 ± 9.3	49.5 ± 20.3
N40+35			36.5 ± 15.6	55.6 ± 3.3
N77	11.5 ± 2.7	46.1 ± 14.3	5.1 ± 1.4	41.9 ± 36.8
N77+35			35.8 ± 11.4	35.2 ± 14.6
N112	15.6 ± 1.6	65.9 ± 16.0	5.8 ± 5.4	25.5 ± 35.7
N112+35			18.6 ± 9.7	77.1 ± 24.5

1 Means of four replications with standard deviation.
2 Means of two replications with standard deviation.

四、幼穗形成期氮營養診斷技術

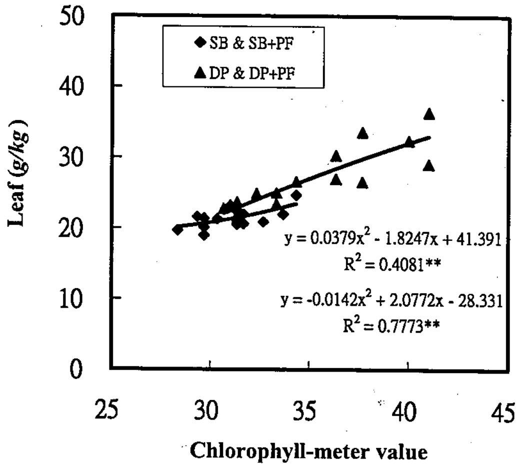
水稻自播種至收穫之任何生育時間均可吸收氮，但就各生育期所吸收之氮對稻穀之生產效率言，則以有效分蘗期及幼穗形成期所吸收者較大。故為使稻穀增產，有效分蘗期之施肥(包括基肥)和穗肥(幼穗長達 1-2 *mm* 時)之適當施用，甚為重要。實際上二者配合之施肥方式已廣為農家採用。惟穗肥之效果則與分蘗期施肥(包括基肥)之用量有關；如幼穗形成期以前，水稻已經吸收足量氮，則穗肥之效果往往不顯著，甚而導致減產。在此種情形下，穗肥之施用期應延後或其用量應減少。故為期肥料之有效施用，穗肥施用前之植株氮營養診斷最為重要。連[31]之研究已指出，幼穗形成期時全株氮濃度達 20.0 *g/kg* 以上時，施穗肥無增產效果。此結果並已作為水稻氮肥施用之準則[39]。惟此法需採取全株進行化學分析，不但植株樣本數龐大，且處理甚費時。

以葉綠素計測定葉片之葉綠素測值與葉片氮濃度、葉綠素濃度及全株氮濃度均有顯著正相關[23, 24, 40]。故可應用於診斷植株之氮營養狀



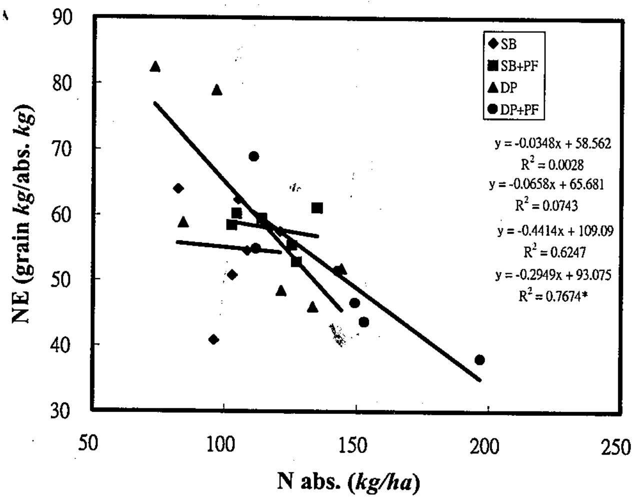
圖二 不同施肥方式處理之氮用量與氮肥吸收效率之相關(2003 一期作)

Fig. 2. Relationship between nitrogen application rate and fertilizer-N absorption efficiency under different fertilization methods (2003 first crop) (SB: surface broadcast; SB + PE: surface broadcast + panicle fertilizer; DP: deep placement; DP+PF: deep placement + panicle fertilizer).



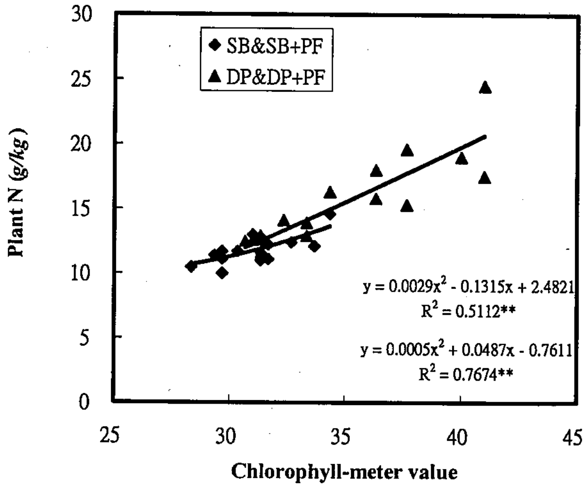
圖四 水稻幼穗形成期葉片葉綠素計測值與葉片氮濃度之相關(2003 一期作)

Fig. 4. Relationship between chlorophyll-meter value and leaf N concentration at panicle initiation stage of rice (2003 first crop) (SB: surface broadcast; SB + PE: surface broadcast + panicle fertilizer; DP: deep placement; DP + PF: deep placement + panicle fertilizer).



圖三 不同施肥方式處理之氮用量與氮效率之相關(2003 一期作)

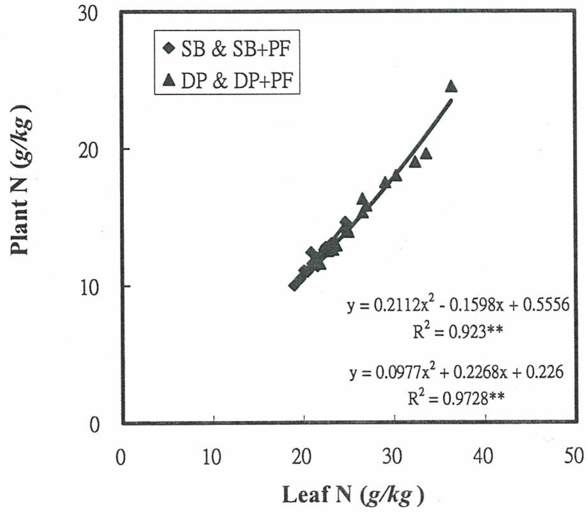
Fig. 3. Relationship between nitrogen absorbed and nitrogen efficiency under different fertilization methods (2003 first crop) (SB: surface broadcast; SB + PE: surface broadcast + panicle fertilizer; DP: deep placement; DP + PF: deep placement + panicle fertilizer).



圖五 水稻幼穗形成期葉片葉綠素計測值與植株氮含量之相關(2003 一期作)

Fig. 5. Relationship between chlorophyll-meter value and plant N concentration at panicle initiation stage of rice (2003 first crop) (SB: surface broadcast; SB + PE: surface broadcast + panicle fertilizer; DP: deep placement; DP + PF: deep placement + panicle fertilizer).

態。本研究測定並比較幼穗形成期水稻之全株氮濃度，葉片氮濃度及葉片葉綠素計測值之相關，結果顯示：水稻幼穗形成期葉片葉綠素計測值與葉片氮濃度及全株氮濃度均呈極顯著正相關，葉綠素計測值相同時，深施區之葉片氮濃度較撒施區高(圖四及圖五)，而葉片氮濃度與全株氮濃度之間也呈極顯著正相關，深施區與慣行撒施區並無明顯差異(圖六)。將 2002 年與 2003 年之資料相比較可知；全株氮濃度為 20.0 *g/kg* 時，葉片氮濃度 2003 年為 32.6 *g/kg*，2002 年則為 32.5 *g/kg*。撒施區因植株氮濃度明顯較往年低，無法與往年之 29.7 *g/kg* 比較。全株氮濃度為 20.0 *g/kg*時葉片葉綠素計測值 2003

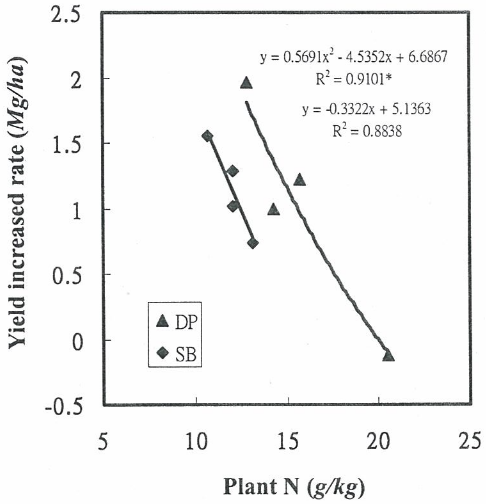


圖六 水稻幼穗形成期葉片葉片氮濃度與植株氮濃度之相關(2003 一期作)

Fig. 6. Relationship between leaf N concentration and plant N concentration at panicle initiation stage of rice (2003 first crop) (SB: surface broadcast; SB + PE: surface broadcast + panicle fertilizer; DP: deep placement; DP + PF: deep placement + panicle fertilizer).

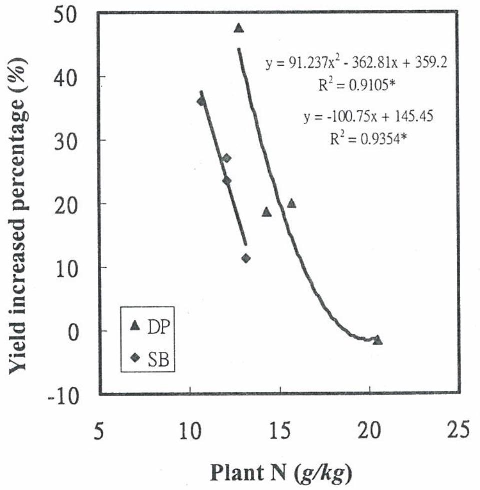
年為 40.1，較 2002 年 38.3 略高。

圖七及圖八顯示隨著幼穗形成期全株氮濃度增加，幼穗形成期增施 35 *kg/ha* 穗(氮)肥對水稻稻穀的增加量及增產率下降。施穗肥的增產率除了深施區之最高氮肥處理區為減產 1%外，甚至高達 28%、33%、23%及 11% (撒施區)(表三)，及 47%、18%及 20% (深施區)(表四)。張與楊[41] 指出，肥料分施在第一、二期作其產量均較慣行法為佳，一期作增產原因為每穗粒數及千粒重之增加。栽植密度亦能增產，其產量之提高乃得自單位面積總穗數之增加。本研究穗(氮)肥的增產效果高於鄭[42] 之研究結果：施用穗肥之處理，不論一期或二期作均較不施穗肥之處理稻穀產量高，在前期施用 75 *kg/ha* 氮肥之情況下，一期作增產量均在 10%以上，惟二期作之增產量較一期作高。其原因可能因本期作水稻幼穗形成期以後；下雨日數明顯較往年少，僅為 16.0 天，而過去 10 年的平均值則為 23.2 天。天候狀況較佳，有利穀粒生產。另外，因深施區氮肥的流失量較撒施區少(表九及表十)，插秧時如已施用較高量氮肥(N 112 *kg/ha*)，於幼穗形成期施穗(氮)肥，反而造成植株在生育後期吸收過量氮，為同化這些吸收之氮將影響碳水化合物移至穀粒的量，而不利穀粒生產[8, 43]。由圖中之相關方程式計算可知，深施區水稻幼穗形成期全株氮濃度分別達 19.5 *g/kg* (圖七)及 18.6 *g/kg* (圖七)時，



圖七 水稻幼穗形成期植株氮含量與穗肥處理稻穀增產量之相關(2003 一期作)

Fig. 7. Relationship between plant N content and yield increased rate caused by applied nitrogen fertilizer at panicle initiation stage of rice (2003 first crop) (SB: surface broadcast; DP: deep placement).



圖八 水稻幼穗形成期植株氮濃度與穗肥處理區稻穀增產百分率之相關(2003 一期作)

Fig. 8. Relationship between plant N concentration and yield increased ratio caused by applied nitrogen fertilizer at panicle initiation stage of rice (2003 first crop) (SB: surface broadcast; DP: deep placement).

施穗(氮)肥無增產效果。連[31] 之報告指出，穗肥之效果和幼穗形成期之植物體全氮濃度具有顯著的負相關，第一期作時幼穗形成期之植物體全氮濃度如低於 18.0-19.0 *g/kg*，則穗肥之效果顯著，反之則否。惟此基準似因環境而稍異。如在台北試驗結果，較屏東略高，為 20.0 *g/kg* 左右。因此，本研究之結果與前人之研究結果相接近。此外，由於幼穗形成期葉片葉綠素計測值與全株氮濃度呈極顯著正相關，故利

用葉綠素計測值可供此時期現場診斷植株氮營養推薦穗(氮)肥用量之依據。

結 論

深施區水稻之乾物產量、穀粒產量、全氮吸收量及穀粒氮量均較慣行撒施區高。幼穗形成期增施穗(氮)肥明顯增加水稻生育中後期氮吸收量、乾物產量、氮收穫指數及收穫指數，故明顯提高穀粒產量。惟因深施區水稻氮吸收效率高，在較高氮肥用量區增加穗(氮)肥對全乾物產量及穀粒產量均有不利影響。

水稻幼穗形成期全株氮濃度達 18.6-19.5 *g/kg* 時，施穗(氮)肥無增產效果，此與前人之結果相近。幼穗形成期葉片葉綠素計測值與全株氮濃度呈極顯著正相關，可供此時期現場診斷植株氮營養推薦穗(氮)肥用量之依據。

參 考 文 獻

(1) 連 深：*作物施肥手冊-貳、施肥原則及參、水稻*，pp. 10-31。台灣省政府農林廳，南投，台灣 (1996)。

(2) 連 深、王鐘和：長期連用矽酸爐渣對水稻收量和土壤化學性質之影響。*中華農業研究*，**32**: 185-199 (1983)。

(3) 連 深：水稻之植物營養研究發展。*台灣省土壤肥料學會三十周年紀念特刊*，pp. 45-47。台灣省土壤肥料學會，台北，台灣 (1982)。

(4) 王鐘和、林毓雯、黃維廷、江志峰：水稻合理施肥技術。*作物合理化施肥技術研討會專刊*，pp. 11-24，中華永續農業協會，台中，台灣 (2002)。

(5) 連 深、鄭榮賢、蘇春濤：省產裹硫尿素及硫酸銨簡化施肥法在不同水田之肥效。*台灣省農業季刊*，**13**: 135-148 (1977)。

(6) N. R. Su: *Fertilizers Applications to Rice in Taiwan*, ASPAC /FFTC Extension Bull. No.60, Taipei, Taiwan (1975).

(7) A. Hayami: *Cropping Sequences and Their Effect on Soil Fertility*, FFTC Tech. Bull. No. 23, Taipei, Taiwan (1975).

(8) 鍾仁賜、王鐘和、王俊文、王銀波：不同施肥下水稻之生長及氮素吸收與分佈。*土壤與環境*，2: 65-76 (1999)。

(9) 鄒運豐、林順台：水稻氮肥機械深施試驗。*台灣省政府農林廳 68 年土壤肥料試驗報告*，pp. 35-42，台灣省政府農林廳，南投，台灣 (1980)。

(10) 鄒運豐、林順台：水稻三要素機械化深層施肥試驗。*台灣省政府農林廳 68 年土壤肥料試驗報告*，pp. 56-64，台灣省政府農林廳，南投，台灣 (1980)。

(11) 莊作權：台灣水田土壤在施用尿素及土壤改良劑下對水稻產量及養分含量與土壤肥力之影響。*中華農學會報*，**159**: 61-74 (1993)。

(12) 深山政治：水稻の最適窒素保有量と土壤窒素吸收パターンから見ん施肥。*水田土壤窒素の無機化と施肥*，pp. 63-97，日本土壤肥料學會，東京，日本 (1990)。

(13) W. Genshichi and P. C. Cruz: Nitrogen response of rice varieties with reference to nitrogen absorption at early growth stage. *Jpn. J. Crop Sci.*, **59**: 540-547 (1990).

(14) R. J. Norman, D. Guindo, B. R. Wells and C. E. Wilson Jr.: Seasonal accumulation and partitioning of nitrogen-15 in rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **56**: 1521-1527 (1992).

(15) 謝慶芳、黃山內：水稻氮素肥料效率改進試驗。*台灣省政府農林廳土壤肥料試驗報告*，pp. 22-26，南投，台灣 (1976)。

(16) 戴登燦：*不同時期所施氮肥對水稻氮素吸收與分配動態之影響*。國立中興大學農藝研究所碩士論文，台中，台灣 (1990)。

(17) M. Dingkuhn, S. K. De Datta, C. Javellana, R. Pamplona and H. F. Schnier: Effect of late-season N fertilization on photosynthesis and yield of transplanted and direct-seeded tropical flooded rice. I. Growth dynamics. *Field Crops Research*, **28**: 223-234 (1992).

(18) B. N. Tripathy and R. M. Upadhyay: Effect of biocide and fertilizer application on the nutritional status of rice. *Oryza*, **26**: 43-47 (1989).

(19) T. Mae and K. Ohira: The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence in rice plants (*Oryza Sativa* L.). *Plant Cell Physiol.*, **22**: 1067-1074 (1981).

(20) S. Yoshida and V. Coronel: Nitrogen nutrition, leaf resistance and leaf photosynthetic rate of the rice plant. *Jpn. Soc. Soil Sci. Plant Nutr.*, **22**: 207-211 (1976).

(21) M. Dingkuhn, S. K. De Datta, R. Pamplona, C. Javellana and H. F. Schnier: Effect of late-season N fertilization on photosynthesis and yield of transplanted and direct-seeded tropical flooded rice. II. A canopy stratification study. *Field Crops Research*, **28**: 235-249 (1992).

(22) N. M. Chau and P. S. Deshmukh: Nitrogen induced physiological changes in lowland rice. *Oryza*, **28**: 205-209 (1991).

(23) 王銀波、王鐘和：葉綠素計測值與不同生育期水稻及玉米葉片氮素含量、葉綠素含量及全株氮素含量之相關研究。*國科會計劃年度報告*。pp. 1-18，台北，台灣 (1997)。

(24) 王鐘和、林毓雯、丘麗蓉：不同氮素營養對水稻生育之影響及穗肥診斷基準研究。*農試所九十一年度計劃報告*。pp. 1-9，台中，台灣 (2002)。

(25) S. B. Ku, M. R. Schmitt and G. E.Edwards: Quantitative determination of RuBP carboxylase-oxygenase protein in leaves of several C3 and C4 plants. *J. Exp. Bot.*, **30**: 89-98 (1979).

(26) S. Yoshida: *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines (1981).

(27) A. Tanaka, J. Yamaguchi, S. Miura and H. Tamaru: Comparison of fertilizer nitrogen efficiency among field crops. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **30**: 199-208 (1984).

(28) D. H. Wallace and R. W. Zobel: The biology of crop yield. *In: Hand-book of Agricultural Productivity*. Vol.I: *Plant Productivity* (M. Rechcigl Jr. ed.), CRC press, Florida, USA (1982).

(29) 石塚喜明、金雄桂：トウモロコシの營養生理的研究(第一報)生育に伴う同化產物の生成と養分吸收に關する研究。*日本土肥誌*，**38**: 407-412 (1967)。

(30) 鄭榮賢、羅瑞生、王明茂：巨粒尿素深施觀察。*台灣省政府農林廳 71 年度土壤肥料試驗示範報告*，pp. 56-64，南投，台灣 (1982)。

(31) 連 深：水稻之穗肥效應及診斷研究。*農業研究*，**21**: 71-77 (1972)。

(32) 王鐘和：*轉作田玉米栽培技術及氮素營養管理*。國立台灣大學農業化學研究所博士論文，台北，台灣 (1993)。

(33) R. A. Olson: Isotope studies on soil and fertilizer nitrogen. In: *Isotopes and Radiation in Research on Soil-Plant Realationships*, p. 25, IAEA, Vienna, Austria (1979).

(34) W. B. Gass, G. A. Peterson, R. D. Hauck and R. A. Olson: Recovery of residual nitrogen by corn (*Zea mays*

L.) from various soil depths as measured by N tracer techniques. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **35**: 290-294 (1971).

(35) P. F. Chabalier and J. Pichot: Utilization of fertilizer nitrogen by maize crop in the Ivory Coast. In: *Isotopes and Radiation in Research on Soil-Plant Relationships*, p. 33, IAEA, Vienna, Austria (1979).

(36) 洪崑煌、劉天斌：不同時期所施肥料氮利用率與稻穀收量之關係。*台灣大學農學院研究報告*，**19**: 1-18 (1979)。

(37) 王文華：*水田尿素深施對氮素移動、揮失、淋失及肥效之影響*。國立中興大學碩士論文，台中，台灣 (1983)。

(38) S. Shoji, T. Nogi and K. Suzuki: Absorption of fertilizer and soil nitrogen by rice plants under the various cultural conditions of different paddy fields.1. Relationships between the rate of basal nitrogen absorption by rice plants. *Tohoku J. Agric., Res.*, **25**: 113-124 (1974).

(39) *作物需肥診斷技術*：台灣省政府農林廳，南投，台灣 (1981)。

(40) 王鐘和、林毓雯、艾慶平、丘麗蓉：不同氮素營養對水稻生育之影響研究。*農試所九十年度計劃研究報告*，pp. 1-12，台中，台灣 (2001)。

(41) 張萬來、楊謙遜：水稻肥料分施與栽植密度對產量，產量構成因子及其他主要農藝性狀之效果(三)。*中華農業研究*，**15**: 1-7 (1966)。

(42) 鄭榮賢：水稻穗肥效果試驗。*台灣省政府農林廳土壤肥料試驗成果報告*，pp. 121-138，台灣省政府農林廳，南投，台灣 (1969)。

(43) 王鐘和、艾慶平、丘麗蓉、林毓雯、鍾仁賜：施用不同有機資材對玉米、水稻輪作物生產之影響。*農業土壤生態品質及生產力研討會論文集*，pp. 181-218。國立中興大學土壤環境科學系，台中，台灣 (2002)。